CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA EN ARGENTINA Y URUGUAY: MARCOS CONCEPTUALES PARA SU ANÁLISIS

Paruelo, J.M.[1,2]; Guerschman, J.P.[1]; Piñeiro, G.[1]; Jobbágy, E.G.[3]; Verón, S.R.[1]; Baldi, G.[1] y Baeza, S.[2]

Recibido: 20/03/06 Aceptado: 14/08/06

RESUMEN

El ser humano modifica el territorio para llevar a cabo actividades productivas o construir viviendas. Estas modificaciones producen importantes cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, afectando en última instancia la propia calidad de vida de las personas. En este artículo en primer término describimos algunos de los cambios ocurridos en el uso de la tierra en buena parte de Argentina y Uruguay. Utilizamos conjuntamente información aportada por estadísticas oficiales de ambos países y datos resultantes del procesamiento y clasificación de imágenes satelitales. Nuestros análisis muestran que tanto el área agrícola como forestal se han expandido en los últimos años. En Argentina, la mayor expansión la tuvieron los cultivos anuales (desde un 4% a un 14.3%, entre 1988 y 2002) y particularmente la soja, tanto en la provincia de Buenos Aires como en las provincias del Norte Argentino. En Uruguay la mayor expansión entre los censos de 1990 y 2000, estuvo dada por los cultivos forestales, los cuales llegaron a ocupar más del 35 % del área de algunas secciones censales. Luego del 2000, la expansión de la soja también afectó el litoral uruguayo, donde varias secciones censales aumentaron su área de soja a tasas cercanas al 5% anual. En segundo término, presentamos el marco conceptual a los efectos de entender los procesos que determinan estos cambios y examinar su dinámica espacial y temporal. En base a este marco conceptual es posible modelar los cambios en el uso de la tierra a partiendo de la probabilidad de transición entre usos. Los controles de estas transiciones pueden ser ambientales (por ej. tipos de suelos, clima, etc.), económicos (por ej. margen bruto, precios internacionales, etc), sociales (por ej. disponibilidad de mano de obra, tenencia de la tierra, etc.), o políticos (por ej. la ley forestal, política impositiva, líneas de créditos, etc.). Finalmente usando la idea de servicios ecosistémicos presentamos un marco conceptual para la planificación del uso de la tierra considerando sus impactos ambientales, sociales, económicos y políticos.

PALABRAS CLAVE: cambios en el uso suelo, dinámica espacial y temporal, servicios ecosistémicos, planificación del uso de la tierra.

SUMMARY

CONCEPTUAL FRAMEWORKS FOR THE ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN ARGENTINA AND URUGUAY

Humans modify the territory to carry out productive activities or to build dwellings . These modifications generate important changes in the structure and function of ecosystems, ultimately affecting the quality of people's life. In this article we first describe some of the land use changes happened in a large part of Argentina and Uruguay. We used official statistics of both countries and data from satellites images. Our analyses showed that agriculture and forest plantations expanded at high rates during the last years. In Argentina, annual crops (particularly soybean) presented the fastest expansion (from 4% to 14.3%, between 1988 and 2002). In Uruguay the most important change between the agricultural censi of 1990 and 2000, was the expansion of tree

[1]Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección – IFEVA – Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires y CONICET. Buenos Aires, Argentina.
[2]Ecología Terrestre, Facultad de Ciencias – Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
[3]Grupo de Estudios Ambientales – Universidad Nacional de San Luis. San Luis. Argentina.

plantations, which ended up occupying more than 35% of the area of some counties (*secciones censales*). After year 2000, soybean crops also expanded in Uruguay, where counties in Western departments experienced an increase in the cropped area higher that 5% per year^{-1} . Additionally, we present a conceptual framework to understand the processes that determine land use changes and to describe their spatial and temporal dynamics. Starting from this conceptual framework it is possible to model land use changes, based on the transition probability among alternative land covers. The controls of these transitions can be environmental (i.e. soil types, climate, etc.), economic (i.e. gross margin, international prices, etc), social (i.e. manpower readiness, land holding, etc.), or political (i.e. the Uruguayan and Argentinean forest laws, taxes, state credits, etc.). Finally using the concept of ecosystem services we present a conceptual framework for planning land use transitions considering environmental, social, economic and political impacts.

KEY WORDS:

INTRODUCCIÓN

La expansión de la soja en Argentina y de las plantaciones forestales en Uruguay son dos de las transformaciones más importantes que han operado en los pastizales del Río de la Plata en las últimas décadas. La soja se ha convertido, en los últimos años, en el principal cultivo de Argentina, tanto en superficie implantada como en producción total. En la campaña agrícola 1988/89 se sembraron 4,6 millones de hectáreas y la producción alcanzó los 6,5 millones de toneladas. Sólo quince años después, en la campaña 2003/04, la superficie sembrada con esta oleaginosa ascendió a 14,2 millones de hectáreas y la producción fue 7 veces mayor (34.8 millones de toneladas) que lo cosechado en 1989. En Uruguay la superficie forestada ha tenido un crecimiento constante pasando de 186.000 ha en 1991 a 661.000 ha en el 2000 (MGAP 2000). De esta superficie forestada aproximadamente el 83% corresponde al género *Eucalyptus*, el 15% al género *Pinus* y el 2% a salicáceas. Los dos primeros géneros, en su mayoría, están representados por *Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Pinus elliotti* y *Pinus taeda*.

Estos hechos forman parte de un fenómeno más amplio, y preexistente: la "agriculturización" de los sistemas productivos extensivos. El fenómeno de "agriculturización" no se limita sólo al territorio argentino y uruguayo, sino que se manifiesta también en otros países de Sudamérica como Bolivia, Brasil y Paraguay (Paruelo *et al*. 2004). El proceso de "agriculturización" genera diferentes opiniones: por una parte, el sector "productivo" celebra y fomenta la incorporación de nuevas áreas agrícolas y la generación de ingresos que ello implica. Por otra parte, la comunidad científica y las ONGs alertan sobre los riesgos que implica el modelo adoptado en relación a la sustentabilidad de los ecosistemas y de los sistemas sociales.

La "agriculturización" es un caso particular (y frecuente) de cambio en el uso de la tierra, o sea del tipo de aprovechamiento que los humanos hacemos de los ecosistemas. La alteración de la cobertura vegetal producida por los cambios en el uso constituye una de las principales dimensiones del fenómeno conocido como Cambio Global. Junto con las alteraciones climáticas y las modificaciones en la composición atmosférica, el cambio en el uso de la tierra tiene consecuencias ambientales que exceden el ámbito local o regional y se manifiestan a escala global (por ejemplo, cambios climáticos) Un creciente número de evidencias da cuenta de las consecuencias de la expansión agrícola sobre el clima, el balance de carbono y nitrógeno, las emisiones de gases traza con efecto invernadero, la biodiversidad y el balance hídrico (Hougthon., 2001). A las consecuencias económicas y ambientales de la expansión agrícola se añaden las consecuencias sociales, todas estrechamente ligadas. Algunos cambios sociales están directamente ligados a las transformaciones económicas, como es el caso de las migraciones internas y externas, redistribución de la tierra y el ingreso, y cambios en las relaciones laborales. Otro cambios sociales se vinculan a las transformaciones ambientales que, a través del impacto de las actividades antrópicas sobre la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, afectan la calidad de vida de la sociedad y la forma en que ésta percibe y valora los cambios en el uso de la tierra. Cuestiones tan variadas como el acceso a agua de calidad, la provisión de leña, de plantas medicinales y de animales con valor cinegético o pesquero; el ciclado de nutrientes, la regulación de la erosión, la eliminación de residuos o la recreación pueden jugar un papel importante en este caso.

Frente a una demanda externa creciente de alimentos y fibras, el aumento de la superficie agrícola y forestal aparece como un proceso ineludible en una economía de mercado. Sin embargo, y a pesar de su probable beneficio económico, las consecuencias sociales y ambientales que trae aparejado advierten acerca de la importancia de planificar y regular la expansión del área cultivada. Dejar librado este

proceso a las "leyes del mercado" representaría una irresponsabilidad que puede tener como consecuencia una muy desigual distribución de los beneficios y costos de la "agriculturalización" entre distintos sectores geográficos y económicos de la sociedad en el corto plazo y en muchos casos un balance negativo para la sociedad en conjunto en el largo plazo. La planificación de los procesos de cambio en el uso de la tierra requiere, sin embargo, que quienes la discuten, diseñan y ejercen dsipongan de la información y los esquemas conceptuales adecuados. Es necesario conocer la dinámica, las causas, y las consecuencias del cambio en el uso de la tierra. Por ejemplo, es necesario acceder a información que permita responder a preguntas tales como ¿A qué velocidad se expanden las áreas agrícola y forestal? ¿En qué zonas y en qué períodos es esta expansión más intensa? ¿Cuáles son sus controles ambientales, tecnológicos, socioeconómicos y políticos? ¿Cómo afectan la producción de bienes de servicios a la sociedad? En este artículo avanzamos sobre estas preguntas y para ello en primer lugar describimos algunos de los cambios en el uso de la tierra en buena parte de Argentina y Uruguay. Luego presentamos un primer marco conceptual que permita comprender los procesos que determinan estos cambios y describir su dinámica espacial y temporal, y finalmente, hacemos referencia a un segundo marco conceptual que permita analizar y planificar el uso de la tierra sobre la base de sus impactos ambientales, sociales, económicos y políticos. Los cambios en el uso de la tierra se describen sobre la base de información aportada por estadísticas oficiales de Argentina y Uruguay, y datos resultantes del procesamiento y clasificación de imágenes provistas por satélites. Se aprovecha el contraste entre ambos países para explorar el papel de los controles políticos sobre el uso de la tierra.

ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA OCURRIDOS EN ARGENTINA Y URUGUAY EN LOS ÚLTIMOS AÑOS

Metodologías para caracterizar el uso de la tierra

La estimación de la superficie agrícola y forestal en países cuyas economías dependen fuertemente de la producción primaria adquiere una gran relevancia estratégica. Las estimaciones de tipos de cobertura de la tierra son particularmente escasas en Sudamérica. En Argentina y Uruguay las estimaciones de la superficie agrícola derivan de dos fuentes oficiales: encuestas y censos[4]. Los censos implican un relevamiento exhaustivo y completo de todo el universo de productores agropecuarios usando una metodología debidamente documentada. La resolución espacial, o sea la mínima porción de territorio discriminada, es la unidad política departamento (en Argentina) o la unidad censal (en Uruguay). La frecuencia de estos relevamientos es baja, ya que en general ocurren a intervalos 10 o más años para ambos países, constituyendo un obstáculo para responder a las demandas más urgentes de la planificación del uso de la tierra.

El segundo tipo de información proviene de las encuestas anuales; éstas constituyen una fuente muy valiosa para evaluar cambios en el sector agrícola. Más allá de su utilidad, la manera de generar la información en las encuestas incorpora diversas fuentes de incertidumbre que podrían afectar seriamente las estimaciones. Éstas incluyen problemas para referir las estimaciones a un área e integrar la información local, la ausencia de protocolos únicos y las diferencias asociadas a la heterogeneidad de formación, motivación y compromiso de los informantes. Otra dificultad básica de esta aproximación es que no es posible evaluar cuán acertada es la estimación. Por otra parte no es posible conocer la distribución de cultivos dentro de un departamento para, por ejemplo, relacionar la distribución de cultivos con los suelos o estudiar la estructura del paisaje agrícola.

La teledetección, es una fuente de información extremadamente valiosa para la estimación de la superficie agrícola y forestal. Incluimos dentro de este conjunto de técnicas a aquellas que hacen uso de sensores a bordo de satélites que registran energía electromagnética emitida o reflejada por un objeto o superficie en distintas porciones del espectro electromagnético (ver Paruelo *et al.,* 2004). Las imágenes generadas por estos sensores proveen datos cualitativos y espacialmente continuos de la superficie, resultando así particularmente útiles para describir el uso de la tierra en grandes extensiones. La discriminación de tipos de cobertura (cultivos de verano, de invierno, montes forestales, cuerpos de agua, pasturas, etc.) se basa en la unicidad de su respuesta espectral y en los cambios temporales que en ellos pudieran operar (Guerschman *et al.,* 2003).

[1] En Argentina los censos se realizaron en la órbita del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) y en Uruguay del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP). Las encuestas son realizadas por el propio INDEC y por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA) y por la Dirección de Estadística Agropecuaria (DIEA) en Uruguay

¿Se ha expandido el área agrícola y forestal durante las últimas décadas? ¿Cuánto? ¿Hacia dónde?

El análisis de los censos agropecuarios de Argentina y Uruguay pone de relieve algunos de los cambios que han tenido lugar en el sector agropecuario. La superficie dedicada a cultivos anuales en Argentina se ha expandido durante el período 1988-2002 a una tasa promedio superior al 0,27%. En Uruguay, en cambio, para el período 1990-2000 se produjo una leve reducción del área, con una tasa menor al 0,01% por año. Por supuesto estos cambios no son uniformes en el espacio (Figura 1) ni en el tiempo. Por ejemplo, prácticamente no se verificaron cambios en Corrientes y Formosa o se concentraron en unos pocos polos en Salta, Santiago del Estero y Chaco. Los mayores cambios en la superficie implantada con cultivos anuales ocurrieron en Córdoba, Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires. En la provincia de Córdoba la superficie total cultivada aumentó en el período 1988-2002 un 14,3%, en Entre Ríos un 9,9%, en Santa Fe un 9,8% y en Buenos Aires un 5,9%. No sólo aumentó la agricultura en las áreas pampeanas, tradicionalmente agrícolas, sino que también lo hizo en las provincias del Norte de Argentina. Salta, Chaco y Santiago del Estero experimentaron un aumento en el entorno del 4% en el área agrícola entre 1988 y 2002. En estas provincias la distribución espacial de la expansión agrícola fue particularmente heterogénea, concentrándose en unos pocos departamentos (Volante *et al.,* 2005).

La superficie total cultivada (la cual incluye cultivos anuales y perennes) aumentó en Argentina con una tasa menor a la observada para los cultivos anuales (0,13%. año^{-1}). Esta aparente paradoja se asocia a un reemplazo de cultivos perennes (particularmente praderas artificiales) por cultivos anuales en ciertas provincias, como Santa Fe o Buenos Aires (Figura 1). La situación es claramente diferente en las provincias del Norte y buena parte de Córdoba en donde la expansión de cultivos anuales implicó el reemplazo de la vegetación natural.

En el caso de Uruguay la superficie total implantada aumentó en la mayor parte de los departamentos (Figura 1b) aún cuando el área dedicada a cultivos anuales no cambió o sufrió una leve disminución. Las diferencias con

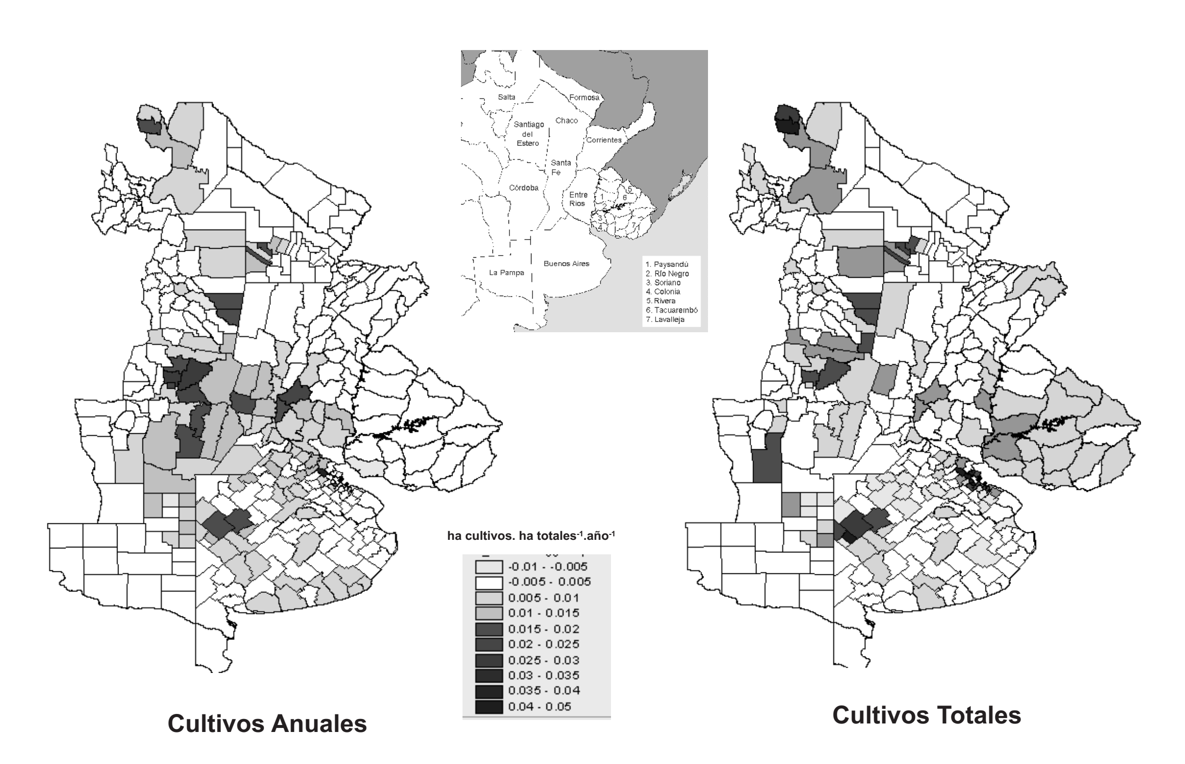
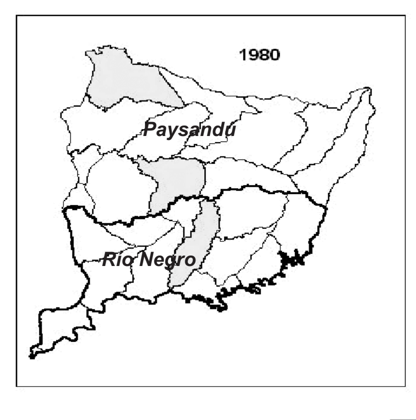


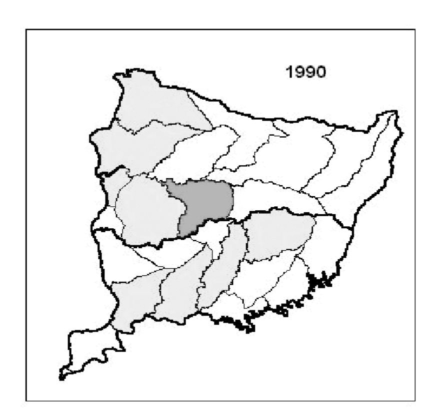
Figura 1. Tasa anual de cambio en la proporción de cultivos anuales y totales del departamento. Para Argentina el período considerado es 1988-2002 y para Uruguay 1990-2000. Elaboración propia en base a datos de los Censos Agropecuarios de Argentina (INDEC) y Uruguay (MGAP, DIEA).

el patrón observado para los cultivos anuales se deben a la expansión que sufrió el área forestada con pinos y eucaliptos. Las explotaciones se concentran especialmente en los departamentos de Lavalleja, Paysandú, Río Negro, Rivera y Tacuarembó. Esta distribución territorial se debe en gran medida a la ubicación de las áreas de "prioridad forestal": aproximadamente el 20 % del territorio nacional ha sido caracterizado como tal. Un análisis detallado de los cambios ocurridos en los departamentos de Paysandú y Río Negro permite observar la tasa a la cual se expandió el área forestada entre 1980 y 2000. En algunas de las secciones censales de estos departamentos la proporción ocupada por cultivos forestales supera en el 2000, el 35% (Figura 2) (Sarli 2004).

Cambios en la superficie cultivada en la República Oriental del Uruguay entre los años 2000 y 2004

La calidad de la información generada y la resolución espacial que presentan los censos agropecuarios y las encuestas no permite dar respuesta a interrogantes de gran relevancia en la definición de políticas públicas (fiscales, sanitarias, de conservación, ordenamiento territorial, etc.). Usando la técnica basada en el comportamiento fenológico particular de cada tipo de cobertura de la tierra (Guerschman *et al.,* 2003) e imágenes del satélite MODIS se generaron descripciones del uso de la tierra para toda el área de los pastizales del Río de la Plata. Los algoritmos de clasificación fueron desarrollados a partir del comportamiento fenológico de cultivos localizados en la Pampa Argentina (Guerschman *et al.,* 2003). Para utilizar esa clasificación en Uruguay se realizó una evaluación contrastando las estimaciones de área implantada con cultivos anuales generada por la clasificación y aquélla producida por el censo agropecuario del año 2000. Se trabajó en este caso a dos resoluciones espaciales, la del departamento (n= 19) y la de sección censal (n = 637), los distritos administrativos en los que se dividen los departamentos. La correlación entre las clasificaciones satelitales y los censos agropecuarios fue muy alta (r = 0.91 para secciones censales, r = 0.93 para departamentos), si bien las estimaciones basadas en las imágenes del satélite MODIS subestimaron ligeramente los valores registrados en el censo.





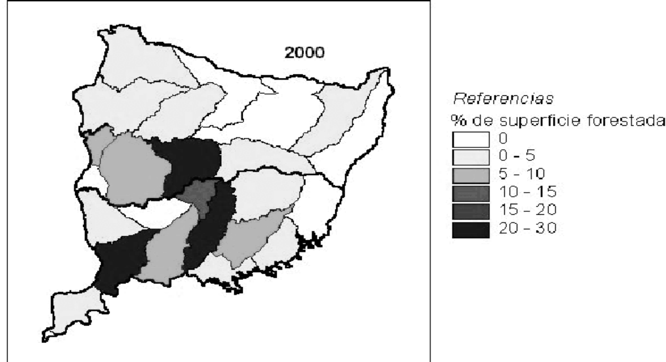


Figura 2. Porcentaje del área forestada por sección censal en los departamentos de Paysandú y Río Negro. Datos de los censos agropecuarios de 1980, 1990 y 2000. Tomado de Sarli (2004).

Sobre la base de esta evaluación es posible estimar, a partir de las imágenes MODIS, la dinámica del área implantada para el período 2000-2003 aquellos para los cuales no se dispone de estadísticas oficiales de alta resolución espacial. A diferencia de lo que ocurrió en las décadas de 1980 y 1990 la agricultura tuvo una importante expansión, particularmente en el litoral oeste del país (parte de los departamentos de Colonia, Soriano, Río Negro y Paysandú). Las tasas anuales de aumento superan el 5% en varias secciones censales litorales (Figura 3). Buena parte de este incremento se asocia a la expansión del cultivo de soja y a expensas de áreas de pastizales naturales. En el extremo oriental las clasificaciones realizadas muestran una reducción de la superficie agrícola en algunas secciones censales, en este caso probablemente asociada a una contracción en el área plantada con arroz.

¿Cómo se modifica la estructura del paisaje rural?

El aumento en el área agrícola determina cambios no solo en la composición del paisaje (proporción de los distintos tipos de cobertura) sino también en su configuración (patrón con el que se distribuyen los distintos tipos de cobertura). Dentro de estos últimos, adquiere particular relevancia la fragmentación de la cobertura original de vegetación. El concepto de fragmentación describe básicamente la disrupción de la continuidad espacial de un tipo de cobertura, en general asociada a perturbaciones antrópicas (Lord y Norton 1990). El conocimiento del grado de fragmentación de un sistema provee información a partir de la cual se pueden inferir cambios sobre aspectos estructurales (por ej.: biodiversidad) y funcionales (por ej.: ciclos biogeoquímicos) a nivel ecosistémico, aún cuando no se conozcan los detalles de los procesos ecológicos involucrados (O'Neill *et al.,* 1997, Herkert *et al.,* 2003, Pielke y Avissar, 1990; Saunder *et al.,* 1991)

Entre 1987 y 2002 en ambas márgenes del Río Uruguay tuvo lugar un proceso de expansión agrícola que derivó en una fragmentación del paisaje (Figura 4) (Baldi y Paruelo, en preparación). Estos cambios estuvieron asociados fundamentalmente a la expansión de la soja en Entre Ríos y a la de las plantaciones forestales en Uruguay. El aumento de la superficie de cultivos (anuales y perennes) fue cercana al 30% en algunas de las áreas pilotos estudiadas (Figura 5 a). Junto con los cambios en las áreas relativas se produce un aumento en el número de parches individuales de pastizal y una reducción en el tamaño de estos parches (Figura 5b y c). Estos dos indicadores cuantifican el proceso de fragmentación que está teniendo lugar en el litoral del río Uruguay.

En los pastizales del Río de la Plata existe una marcada heterogeneidad en relación a los patrones de cobertura,

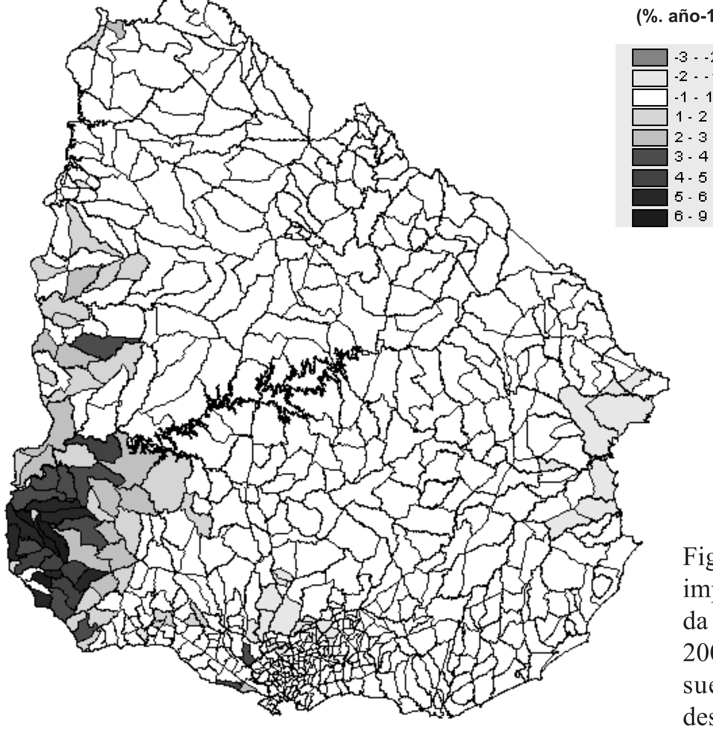


Figura 3. Tasa de cambio (%. año-1) en la superficie implantada con cultivos anuales en Uruguay resumida a nivel de sección censal para el período 2000-2003. Las clasificaciones de tipos de cobertura del suelo fueron realizadas a partir de las técnicas descriptas en la caja 2 usando imágenes MODIS.

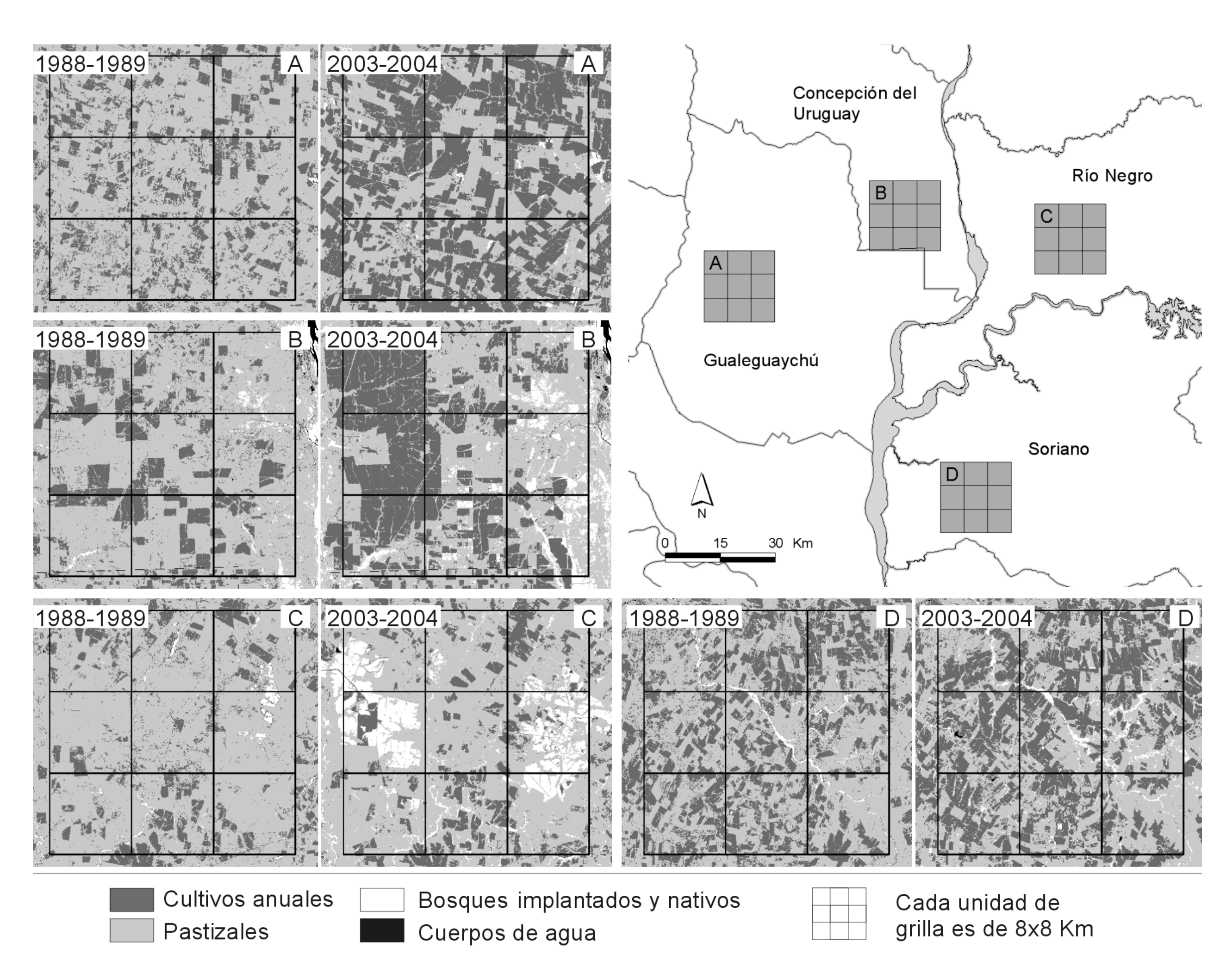


Figura 4. Cambios en el uso del suelo entre 1988-89 y2003-2004 en 4 áreas piloto ubicada en ambas márgenes del Río Uruguay. Los cambios en el uso del suelo surgen del análisis de imágenes de satélite Landsat TM. Tomado de Baldi y Paruelo (en prep.).

así como a los patrones de cambio (Baldi *et al.,* 2006; Baldi y Paruelo, en preparación). Situaciones extremas se observan en la región pampeana, con áreas dominadas por pastizales, como en la Pampa inundable (78,6%), y otras en donde el reemplazo de la cobertura original por cultivos anuales ha sido casi total, como en la Pampa Ondulada. Casi la mitad de la heterogeneidad regional en la estructura del paisaje estuvo asociada a una característica edáfica: el drenaje de los suelos.

¿Qué se perdió a cambio de la ganancia de tierras agrícolas y forestales?

La respuesta a esta pregunta varía según la zona considerada. En la región pampeana, incorporada a la agricultura a principios del siglo XX (N de Buenos Aires, E de La Pampa, SE de Córdoba, S de Santa Fé, parte de Entre Ríos), la expansión de la agricultura se produjo a expensas de tierras implantadas con cultivos forrajeros perennes. Si bien los datos disponibles no permiten una evaluación cuantitativa directa, las evidencias indican que en buena medida se ha reemplazado por agricultura continua la rotación agrícola-ganadera en la cual el suelo era ocupado durante 4-5 años por cultivos anuales y luego por un período similar se implantaba una pastura basada en mezclas de gramíneas y leguminosas perennes. La expansión de la agricultura en los márgenes de esta área y particularmente en la región chaqueña ocurrió a expensas de montes nativos (Cabido *et al.,* 2005). En el NE de Salta y en la campaña agrícola 2002/2003, el 50,6 % de la soja, aproximadamente

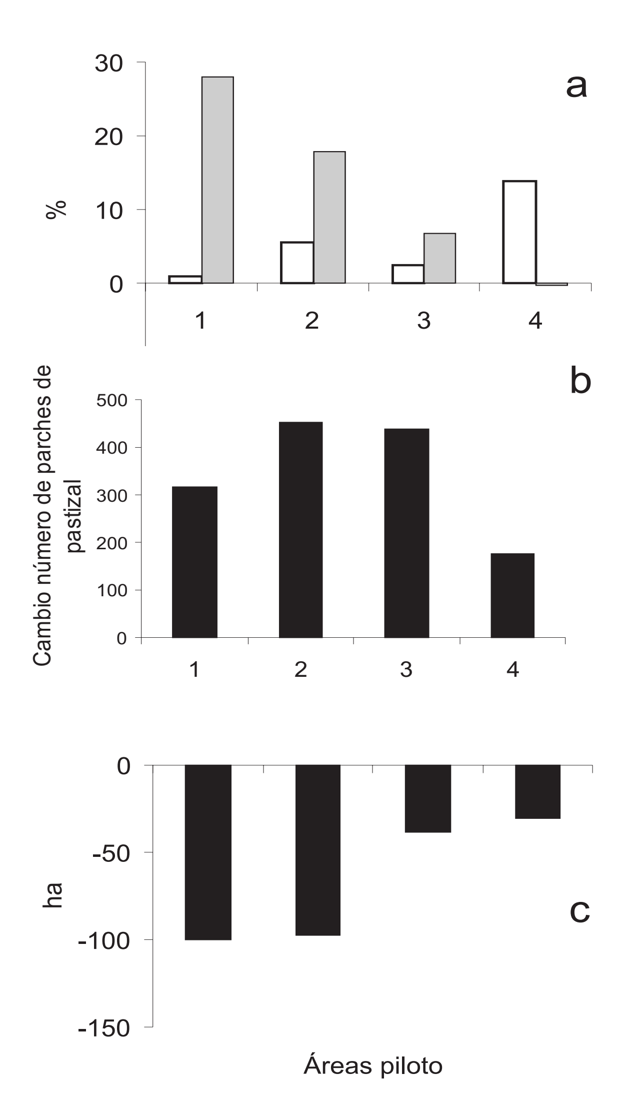


Figura 5.a) Cambios en en % el área dedicada a cultivos y forestación en las 4áreas piloto indicadas en la Figura 4. b) cambios en el número y c) en el área promedio de parches de pastizal en cada una de las área piloto.

unas 158.000 ha, fueron sembradas sobre áreas que en 1988/1989 estaban ocupadas por vegetación natural, mientras que el resto fue sembrada sobre áreas que ya eran agrícolas (Paruelo *et al.,* 2005). En Uruguay no existen aún estudios independientes que permitan estimar el tipo de cobertura que fue reemplazado. Los resultados presentados en la Figura 4 sugieren que buena parte de la expansión ocurrió a expensas de pastizales naturales y seminaturales.

¿Se retrajo consecuentemente la actividad ganadera o fue desplazada hacia otras áreas?

La respuesta a esta pregunta también varía según la zona considerada. Durante el período comprendido entre los dos últimos censos agropecuarios, tanto en Argentina como en Uruguay se produjo un aumento de la carga ganadera. En Argentina la carga por ha para el total de provincias analizadas en la Figura 1 aumentó 2,1 kg ha^{-1} y en Uruguay 19 kg ha^{-1}. En ambos casos la carga se expresa como la suma de los Kg. de peso vivo de los ovinos, vacunos, caprinos y equinos por unidad de superficie. En términos relativos a los valores de fines de la década del 80 y principios del 90 (1988 para Argentina y 1990 para Uruguay) los cambios fueron del 1,55 y del 2,65% para Argentina y Uruguay respectivamente. Estos cambios tuvieron diferente magnitud y signo según la región considerada. En la mayor parte de la zona cerealera pampeana la carga disminuyó. En las zonas que más recientemente se transformaron en agrícolas o que rodean al núcleo agrícola pampeano se observaron, por el contrario, aumentos superiores al 75% (Figura 6). Sólo en cuatro provincias la carga animal disminuyó: Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Corrientes. En Uruguay la carga se redujo en aquellos departamentos en donde la forestación tuvo un gran incremento en la década del 90. A nivel provincial el aumento absoluto de carga tuvo una relación inversa y significativa con la magnitud del cambio en la superficie dedicada a los cultivos agrícolas (Paruelo *et al.,* 2005). Si en lugar de considerar la superficie total del departamento se toma en cuenta el área que corresponde a los distintos tipos de recursos forrajeros (RF) (campo natural, montes nativos, verdeos y pasturas implantadas), la carga por ha dedicada a la ganadería mostró una fuerte expansión. El aumento fue similar en ambos países, rondando el 11% de los valores de carga observados en los censos de 1988 y 1990, según se trate de Argentina o Uruguay. Este análisis sugiere que a nivel nacional en ambos países la expansión agrícola y forestal causó un desplazamiento local de la ganadería que fue sobre compensado por la intensificación ganadera del resto del territorio.

MARCO CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE LA DINÁMICA DE LOS CAMBIOS EN EL USO DE LA TIERRA

Los procesos responsables de los patrones de cambio en el uso de la tierra descriptos en el punto anterior, dependen de una cantidad de factores de naturaleza muy distinta y cuyo análisis constituye un área de investiga-

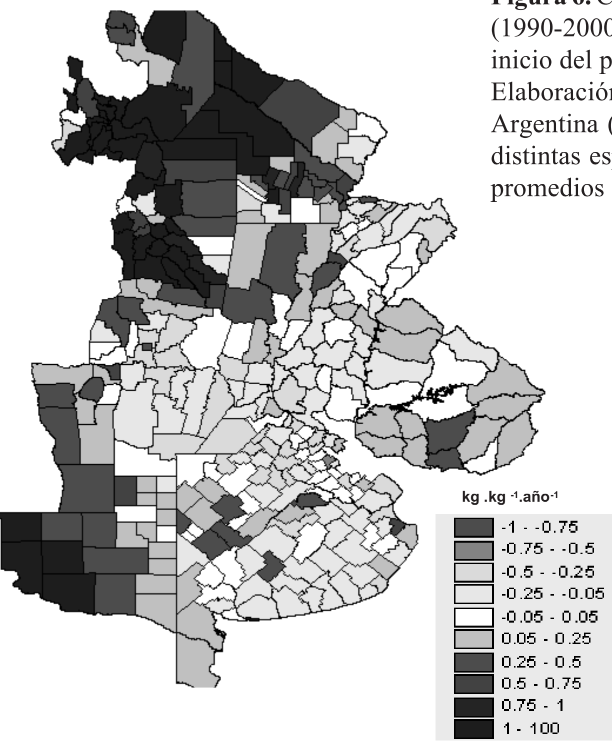


Figura 6. Cambio en la carga animal en Argentina (1988-2002) y Uruguay (1990-2000). Los valores muestran el cambio relativo anual respecto al inicio del período y en relación a la superficie total del departamento. Elaboración propia en base a datos de los Censos Agropecuarios de Argentina (INDEC) y Uruguay (MGAP). Los datos de cabezas de las distintas especies fueron convertidos en biomasa animal usando pesos promedios de las categorías más abundantes.

ción muy fértil e importante. La Figura 7 indica algunos de los controles más importantes de estos cambios. Éstos aparecen divididos en *humanos* y *biofísicos*. Disponer de una adecuada descripción de los patrones espaciales y temporales de cambio en el uso de la tierra es un primer e ineludible paso para comprender los mecanismos responsables de la transformación del territorio. Sin embargo, la generación de modelos explicativos y predictivos de los cambios en el uso de la tierra requiere elaborar hipótesis acerca de la contribución relativa de distintos factores: sociales, económicos, políticos, tecnológicos y ambientales. Los cambios climáticos, la expansión en el uso de técnicas e implementos de labranza mínima y la siembra directa, el desarrollo de nuevos cultivos, los aumentos de precios internacionales de ciertos "commodities", el cambio de escala y el aumento de la disponibilidad de capitales asociados a la irrupción de consorcios de siembra, han sido frecuentemente invocados para explicar cambios en la agricultura pampeana. La promulgación de la Ley Forestal Nº 15.939 en 1987 y el lanzamiento del Plan Nacional de Forestación fueron determinantes del crecimiento de la forestación en el Uruguay en la década de los 90'. Este programa de subsidios fomentó la conversión del campo natural en cultivos forestales.

La importancia relativa de los distintos factores listados en la Figura 7 variará de acuerdo a la zona, reflejando

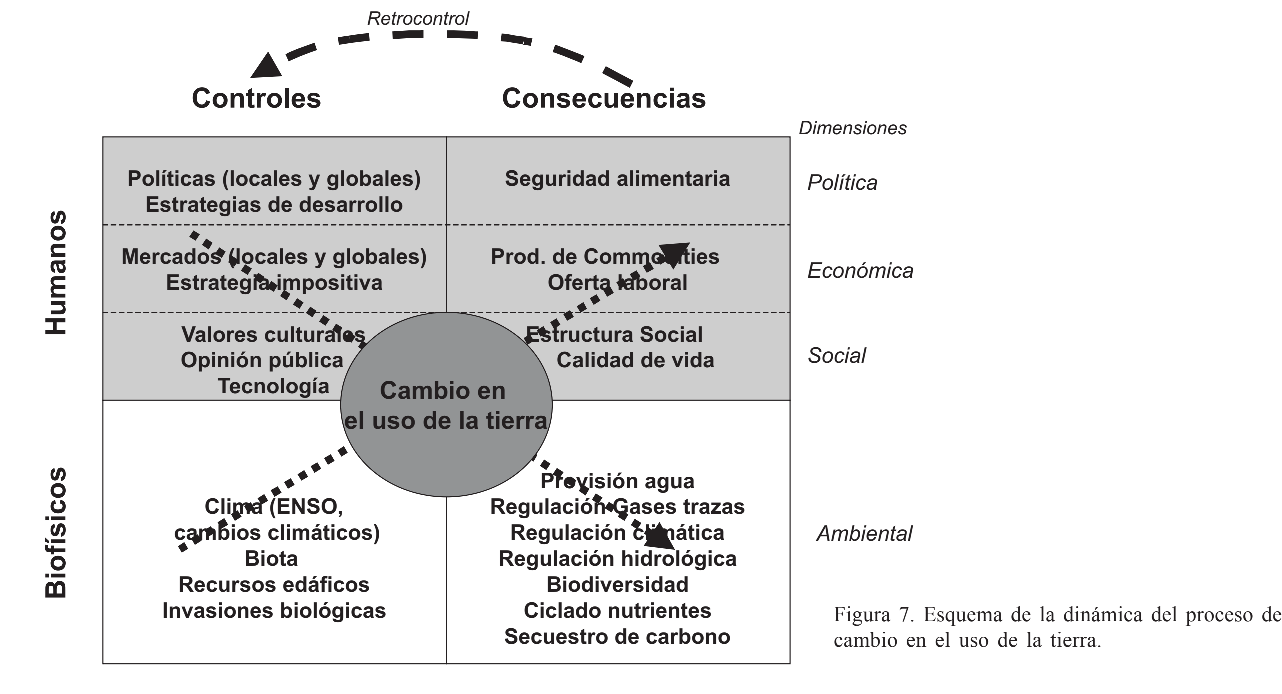


Figura 7. Esquema de la dinámica del proceso de cambio en el uso de la tierra.

en realidad cambios en los niveles de los otros controles y la naturaleza no-lineal de los procesos involucrados en los cambios del uso de la tierra. La disponibilidad tecnológica interacciona con las características edáficas, la capacitación de la mano de obra local, las tendencias climáticas, la relación precios productos/insumos y los incentivos fiscales y económicos para determinar la tasa de expansión de un cultivo dado. La observación de los cambios en ambas márgenes del río Uruguay, un área con similitudes edáficas y climáticas, ilustra cómo factores sociales, económicos y políticos generan una dinámica diferente del paisaje.

En buena parte de la provincia de Buenos Aires es posible hipotetizar que la principal limitante a la expansión de la agricultura ha sido la disponibilidad de suelos sin restricciones por salinidad, alcalinidad o anegamiento. Cambios de gran magnitud en la tecnología y/o en la infraestructura serían necesarios para superar esas limitaciones. En la región Chaqueña en el N de Argentina o en el oeste de Uruguay, en cambio, la disponibilidad de suelos aptos no sería el principal control de la tasa de expansión agrícola. La descripción de los patrones de cambio, su distribución en el espacio geográfico y su relación con variables descriptoras de los potenciales controles constituyen insumos importantes para plantear hipótesis acerca de los procesos de expansión agrícola en la región.

Los cambios en el uso de la tierra pueden restringir nuevos cambios o potenciarlos dependiendo de su impacto sobre los factores de control (flecha de retroalimentación en Figura 7). Los retrocontroles puramente biofísicos pueden demorar en operar y por lo tanto no ser efectivos en restringir la expansión de un cambio dado en el uso de la tierra. Este es el caso de los aumentos en altura de la napa freática y la salinización en áreas originalmente con bosques y convertidas en tierras de cultivo en Australia (Schofield 1992). Los cambios climáticos pueden favorecer o restringir la expansión agrícola. Muchas de las modificaciones asociadas a los cambios climáticos globales pueden afectar la distribución de los cultivos al aumentar la temperatura y consecuentemente la demanda evaporativa o al incrementar eventos extremos como sequías o inundaciones (Paruelo y Sala 1993). Nuevamente la importancia relativa variará espacialmente o dependerá del nivel de otros factores. La tendencia positiva en las precipitaciones observada en la región Chaqueña ha sido invocada como uno de los factores responsables de la expansión agrícola en el este de Salta (Grau *et al.,* 2005) y en el N de Córdoba (Cabido *et al.,* 2005). Identificar en qué medida los cambios en la disponibilidad hídrica observados responden a una dinámica cíclica o corresponden a una tendencia sostenida no es un problema menor a la hora de evaluar el futuro de algunas áreas recientemente "agriculturizadas".

Los cambios en el uso de la tierra tienen una inercia que puede generar situaciones sociales y económicas conflictivas. El comienzo de un ciclo seco puede afectar seriamente a los nuevos polos agrícolas desarrollados sin planificación y sin una adecuada evaluación de la sustentabilidad física de la actividad. Más aún, las consecuencias pueden ser compartidas por toda la sociedad ya que los productores percibirán una situación de menor disponibilidad hídrica como de emergencia y eventualmente reclamarán subsidios para hacer frente a una situación que evalúan como extraordinaria. En estos casos un adecuado conocimiento de la dinámica del sistema de cambio (controles y consecuencias) permitiría a la sociedad, a través de la planificación, producir respuestas anticipadas evitando pérdidas y daños ambientales. Los controles sociales pueden operar a varios niveles (local, nacional, regional) y requieren de una cuidadosa articulación entre el sistema científico-técnico y las instituciones encargadas de ordenar el territorio.

Para la planificación del uso de la tierra y en la evaluación de sus consecuencias (la porción derecha de la Figura 7) es particularmente útil contar con estimaciones de las probabilidades de transición entre tipos de coberturas. La Figura 8 esquematiza la transformación de un paisaje poco modificado en uno muy modificado. La probabilidad de que una celda (una porción del territorio) cambie de un tipo de cobertura (por ej. pastizal natural) a otro (plantación de eucaliptos) dependen de los factores listados en la Figura 7. Cuantificar este proceso implica entonces conocer cómo el nivel de esos factores en una celda o en su vecindad afecta la probabilidad (p) de pasar del tipo de cobertura A al B:

$pA \longrightarrow B = f$(características edáficas, clima, infraestructura, estructura fundiaria, etc.)

Los cambios ilustrados en la Figura 8 pueden ser representados de una manera espacialmente explícita usando modelos del tipo "autómata celular" (Vega *et al.,* 2003). El modelo CLUE (Conversion of Land Use and its Effects) es uno de los más utilizados con este fin (Verburg *et al.,* 1999). El uso de estos modelos permite generar escenarios de cambio en el uso de la tierra y a partir de ellos evaluar las consecuencias y posibles retrocontroles. ¿Cómo generar hipótesis acerca de las probabilidades de transición entre tipos de cobertura? La alternativa más frecuentemente usada es cuantificar la asociación entre los patrones de uso de la tierra y las variables biofísicas y socioeconómicas. Para ello se utilizan distintas herramientas estadísticas que incluyen modelos de regresión múltiple y logística y técnicas de geoestadística. Los resultados de estos análisis

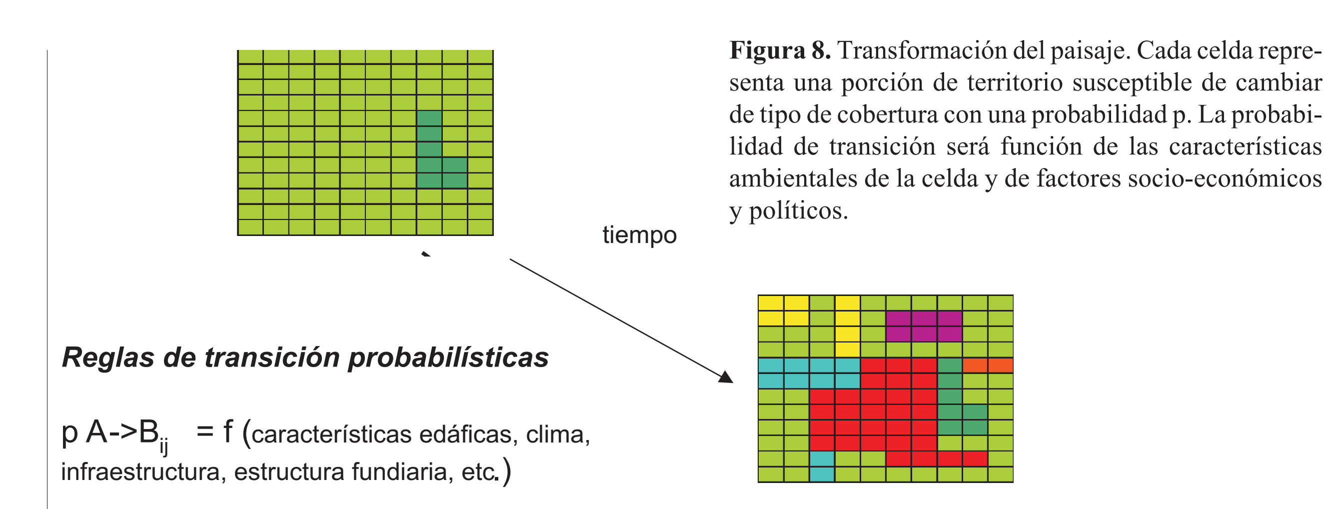


Figura 8. Transformación del paisaje. Cada celda representa una porción de territorio susceptible de cambiar de tipo de cobertura con una probabilidad p. La probabilidad de transición será función de las características ambientales de la celda y de factores socio-económicos y políticos.

pueden ser integrados en la forma de ecuaciones o reglas en los modelos de dinámica del paisaje. Estos modelos mas allá de su capacidad de predicción, constituyen una herramienta fundamental para comprender e integrar en un marco común las distintas dimensiones que influyen en el ordenamiento del territorio y brindar así la posibilidad a los políticos de tomar decisiones basadas en las evidencias científicas disponibles.

MARCO CONCEPTUAL PARA LA PLANIFICACIÓN DEL USO DEL TERRITORIO Y LA EVALUACIÓN DE SUS CONSECUENCIAS

La planificación del territorio es un tema claramente político y depende de cuestiones ideológicas y de los intereses de la sociedad en su conjunto. Sin embargo, la valoración de sus características en las dimensiones sociales, económicas o ambientales, es un tema que debería ser abordado aprovechando los conocimientos técnicos disponibles. De la misma manera los políticos podrán evaluar sobre bases teóricas sólidas los posibles impactos políticos de las transformaciones del suelo. Es por esto que se torna imprescindible generar conocimientos científicos sobre las distintas consecuencias que generan las transformaciones humanas del territorio, tanto en el ámbito social, económico como ambiental. La información necesaria para decidir acerca de la organización del territorio deberá incluir, por separado, las distintas dimensiones mencionadas, sin descuidar sus interacciones.

En los puntos anteriores hemos descrito los patrones más importantes de cambio en el uso de la tierra en la región y planteado un marco teórico para su análisis, dos puntos fundamentales para lograr la planificación del territorio con bases científicas sólidas. A continuación desarrollaremos un marco conceptual sobre cómo establecer las consecuencias **ambientales** de los cambios en el uso de la tierra.

Para evaluar las consecuencias de los cambios en el uso de la tierra en la dimensión ambiental, es particularmente útil el concepto de **Servicios de los Ecosistemas** (Daily 1997). Éste sostiene que los ecosistemas proveen bienes y servicios sin valor de mercado (purificación de aguas, reciclado de nutrientes, biodiversidad, oxigenación del aire, recreación, etc.) y otros con valor de mercado (producción granos, carne, etc.) (Cuadro 1). Los primeros en general son de apropiación colectiva y los segundos son de apropiación privada. Las actividades humanas y particularmente las actividades agrícolas transforman el ecosistema: su estructura y su funcionamiento se modifican y, como consecuencia, se altera su capacidad de proveer servicios y bienes. En general las modificaciones en el uso de la tierra aumentan la producción de bienes que se comercializan en el mercado y su renta es de apropiación privada (turismo, carne o madera) y disminuyen la producción de bienes y servicios sin mercado y por lo tanto no tienen precio (aunque sí valor de uso). A partir de un determinado cambio en el uso de la tierra, la sociedad como un todo, y algunos grupos en particular, dejan de percibir los beneficios derivados de estos bienes y servicios sin precio o valor de cambio en el mercado. Por ejemplo el aprovechamiento de especies silvestres (animales o vegetales) por parte de comunidades rurales en el Chaco occidental desaparece al intensificarse el desmonte destinado a habilitar superficies para el cultivo de soja.

Cuadro 1. Listado de los principales servicios y bienes de los ecosistemas.

Servicios	Bienes
Mantenimiento de la Diversidad	Madera
Moderación de los fenómenos meteorológicos y de sus efectos	Carne
Purificación del agua y del aire	Lana
Pedogénesis	Cuero
Regulación de la composición atmosférica	Leche
Ciclado de nutrientes y materiales	Granos
Polinización de cultivos y poblaciones naturales	
Control de pestes	
Detoxificación	
Control de la erosión	
Estímulo intelectual	

Los servicios ecosistémicos son esenciales para el mantenimiento de la vida en el planeta (particularmente la de los humanos). Por ejemplo, los sistemas agrícolas de la región no podrían haber alcanzado los niveles de producción observados sin el servicio "ciclado de nutrientes" que permitió en la región Pampeana prescindir del uso de fertilizantes durante la mayor parte del siglo XX. La regulación de caudales y carga de sedimentos en cuencas hídricas es otro ejemplo de un servicio ecosistémico. Hace unos años científicos de distintas disciplinas y países hicieron el ejercicio de estimar el valor global de estos servicios sin precio de mercado (Costanza *et al.,* 1997). El resultado mostró que si hubiera que pagar por los servicios ecosistémicos, para mantener el actual nivel de producción el producto bruto mundial debería multiplicarse por 3. De hecho algunos de estos servicios son de tal trascendencia que se está haciendo un esfuerzo global por generar mercados para ellos. Es el caso del secuestro de carbono atmosférico.

La identificación y cuantificación de los servicios y bienes que provee un ecosistema es un tema eminentemente técnico. Para su medición o estimación los ecólogos o profesionales en ciencias ambientales disponen de diversas alternativas metodológicas. La asignación de un precio a estos servicios o bienes es una cuestión que trasciende lo técnico y depende de cuestiones ideológicas y de los intereses particulares y colectivos de los grupos involucrados. En esto no difiere de otros bienes y servicios que consumimos a diario. De hecho los servicios ecosistémicos son económicamente cuantificables a nivel macro mediante las denominadas cuentas patrimoniales.

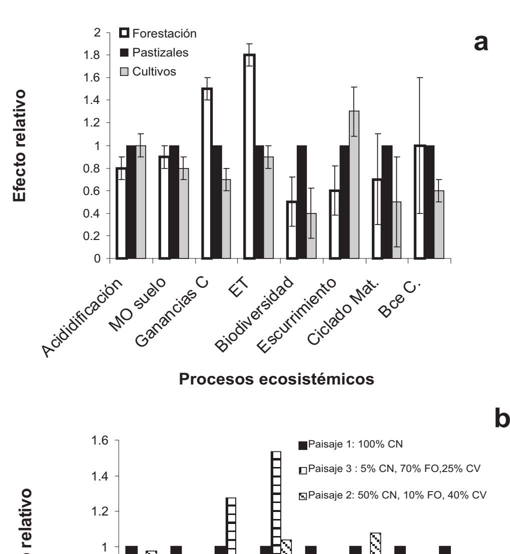
La agricultura intensiva y las forestaciones con especies como pinos y eucaliptos dejan de proveer ciertos servicios sin valor de cambio en el mercado y maximizan la producción de bienes comerciales (madera y granos). Guerschman *et al.,* (2003) y Paruelo *et al.,* (2004b), presentan descripciones del impacto de la agricultura en la región. Jobbagy *et al.,* (en este número) resume las consecuencias ambientales de las forestaciones en los pastizales del Río de la Plata sobre una serie de procesos ecositémicos particularmente importante: las ganancias de C, las pérdidas de agua y el balance de nutrientes. Estas evidencias permiten completar el lado derecho de la Figura 7. Como cualquier análisis, estos resultados no están exentos de subjetividad: los autores deciden qué patrones estudiar, dónde, en qué período. Sin embargo una vez tomadas estas decisiones las evidencias presentadas tienen la objetividad que deriva de la evidencia empírica. En esos estudios no hay juicios de valor del tipo ¿es "buena" o "mala" la forestación? La respuesta a esta pregunta necesita especificar el "para quién". La percepción acerca de las bondades de este proceso variará de acuerdo a los grupos sociales o de interés que estemos considerando. Cada grupo social a partir de una visión sectorial minimizará los

efectos negativos de sus actividades o de las acciones que promueve (Scheffer *et al.,* 2000). La discusión excede entonces el ámbito técnico y económico y se torna eminentemente política. Las evidencias y análisis que provee el sistema técnico científico constituyen, no obstante, elementos muy importantes de esa discusión.

El esquema de la figura 9 resume una posible dinámica de transformación del territorio en el litoral del río Uruguay. La vegetación natural, situación en donde se maximiza la producción de servicios y bienes ecosistémicos de apropiación fundamentalmente pública, puede transformarse en un monocultivo de soja o de eucaliptos en donde se maximiza la producción de "commodities" de apropiación fundamentalmente privada. Esa no es la única dinámica posible del sistema. El ordenamiento territorial permitiría diseñar transiciones a paisajes mixtos en donde se combinen parches de vegetación nativa, agricultura y forestación y en donde se maximice la sustentabilidad ecológica, ambiental y social.

Si bien el límite a tolerar en la reducción de un proceso ecosistémico depende de los valores, intereses en juego, capacidad de negociación y poder de los distintos grupos sociales involucrados, la determinación de los impactos ambientales (así como lo sociales y económicos) escapa a esas consideraciones y puede (y debe) ser determinada de manera objetiva. La figura 9a muestra una estimación del cambio relativo que puede esperarse en distintos procesos ecológicos, directamente ligados a servicios y bienes ecosistémicos. La magnitud y sentido de estos cambios deriva en gran medida de los estudios citados al comienzo de esta sección. El valor de 1 corresponde al de la vegetación natural (en este caso pastizales naturales). Un aumento en el nivel de producción de un bien o servicio es indicado por un factor superior a 1 y una reducción por uno menor a 1. Las líneas superpuestas a las barras indican la incertidumbre asociada a valores de impacto. Una tarea importante del sistema científico técnico es reducir la incertidumbre asociada a los impactos. La figura 9b muestra cómo se afectarían esos procesos en tres paisajes contrastantes: uno dominado por pastizales naturales, uno en donde la superficie de la vegetación nativa es aún del 50% y otra en donde se redujo al 5%.

Para cada una de las alternativas de uso planteadas en la figura 9 podría estimarse el nivel en el que estará produciendo "commodities" y servicios ecosistémicos (provisión de agua, mantenimiento de la biodiversidad, regulación climática o secuestro de C) y a partir de la evaluación de los bienes y servicios (con y sin valor de mercado) producidos y de qué grupos sociales se apropian de esos beneficios, planificar el uso del territorio. Los conflictos se plantean cuando distintos actores sociales o políticos difieren en cuanto a qué bienes y servicios producir, en



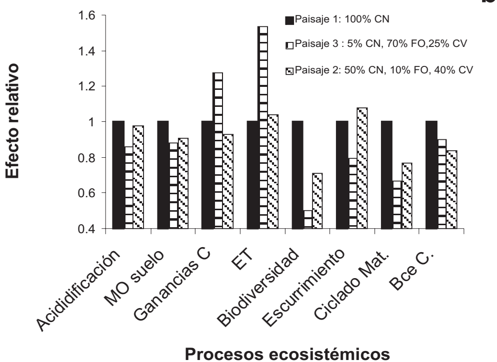


Figura 9. Transformación del paisaje natural a dos paisajes antrópicos alternativos. A. Cambio relativo en distintos procesos ecosistémicos respecto de la vegetación nativa (pastizales) al transformarse una celda a cultivos o forestaciones. Las líneas indican la incertidumbre en la estimación. b. Cambio relativo a nivel de paisaje para 3 paisajes contrastantes en cuanto a proporción de tipos de coberturas. El efecto relativo en este caso surge del promedio ponderado del efecto de cada tipo de cobertura por su proporción.

los criterios para su apropiación, en el valor que se les asigna o sobre quién se hace cargo de los costos derivados de su merma.

¿Se está en condiciones en la región de generar políticas de ordenamiento territorial?

Sin duda hay problemas serios para hacerlo:

1. Los estados no disponen de un sistema que le permita describir los cambios en el uso de la tierra a nivel de establecimiento. Eso impide aplicar tanto políticas de control como fiscales. En el punto 1 de este artículo se describen metodologías para solucionar este problema.
2. Hay un escaso conocimiento científico de las consecuencias ambientales de los cambios en el uso de la tierra sobre la magnitud del cambio en la producción de bienes y servicios ecosistémicos (regulación hídrica, control de erosión, ciclado de nutrientes, etc.), a pesar de que las evidencias aportadas por los escasos artículos aquí citados y las resumidas en este volumen por Jobbagy *et al.,*, García Prechac y Silveira *et al.,*, representan un importante aporte. Aun más escaso es nuestro conocimiento sobre las consecuencias sociales de estos cambios, insinuados por D. Piñeiro & Carambula en este volumen.
3. Hay un vacío institucional a nivel nacional, y provincial / departamental: no hay agencias encargadas del ordenamiento territorial o su capacidad de acción es mínima.
4. Se reconocen derechos para decidir sobre el uso y modificación de la vegetación y el suelo, casi exclusivamente al propietario o a quien detenta el derecho de uso.

El ordenamiento territorial por parte del estado y con el concurso de los distintos grupos sociales involucrados y de instituciones académicas y técnicas debería ser la herramienta para minimizar los riesgos ambientales y los conflictos asociados.

AGRADECIMIENTOS

Alice Altesor hizo importantes aportes a una versión previa del manuscrito. Este trabajo fue realizado con el aporte de la UBA, el FONCYT, el CONICET y el IAI.

BIBLIOGRAFÍA

BALDI, G.; GUERSCHMAN, J.P.&PARUELO, J.M. 2006. Fragmentation in temperate South America grasslands. Agriculture, Ecosystems and Environment 116:197-208.

CABIDO, M.& ZAK, M.. 2005. Deforestación y avance de la frontera agropecuaria en el norte de Córdoba. Ciencia Hoy 15: 20.

CARAMBULA, M. & PIÑEIRO, D. 2006. (mimeo). Consecuencias sociales de la forestación en Uruguay: cambio demográfico y precarización del empleo. Departamento de Ciencias Sociales Facultad de Agronomía. Departamento de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

COSTANZA, R. R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, S.; FARBER, M.; GRASSO, B.; HANNON, K.; LIMBURG, S.; NAEEM, R.V.; O'NEILL, J.; PARUELO, R.; RASKIN, G.; SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997 The value of the world´s ecosystem services and natural capital. Nature 357:253-260.

DAILY, G. 1997. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC.

DELGADO, S.; ALLIAUME, F.;GARCÍA PRÉCHAC, F. & HERNÁNDEZ, J. (mimeo). 2006. Efecto de las plantaciones de eucalyptus sp. sobre los recursos naturales en Uruguay. parte ii: suelos. Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo.

GRAU, H.R.; GASPARRI , N.I. & AIDE, T.M. 2005. Cambios ambientales y responsabilidad de los científicos: el caso del noroeste argentino. Ciencia Hoy 15: 16-17.

GUERSCHMAN, J.P.; PARUELO, J.M. & BURKE, I. 2003a. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. Ecol. Appl. 13:, 616–628.

GUERSCHMAN, J.P.; PARUELO, J.M.; DI BELLA, C.M.; GIALLORENZI, M.C. & PACÍN, F., 2003b. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal LANDSAT TM data. Int. J. Remote Sensing 24: 3381-3402.

HERKERT, J.R.; REINKING, D.L.; WIEDENFELD, D.A.; WINTER, M.; ZIMMERMAN, J.L.; JENSEN, W.E.; FINCK, E.J.; KOFORD, R.R.; WOLFE, D.H.; SHERROD, S.K.; JENKINS, M.A.; FAABORG, J. & ROBINSON, S.K. 2003. Effects of prairie fragmentation on the nest success of breeding birds in the mid-continental United States. Conserv. Biol. 17, 587-594.

HOUGHTON, R. 2001. Counting terrestrial sources and sinks of carbon. Climatic Change, 48, 525-534.

JOBBAGY, E. *et al.* 2006. (mimeo). Forestación en pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. Grupo de Estudios Ambientales – IMASL, Universidad Nacional de San Luis & CONICET. Argentina.

LORD J.M. & NORTON D.A. 1990 Scale and the Spatial Concept of Fragmentation. Conservation Biology, 4, 197-202.

O´NEILL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; JONES, K.B.; RIITTERS, K.H.; WICKHAM, J.D.; SCHWARTZ, P.M.; GOODMAN, I.A.; JACKSON, B.L. & BAILLARGEON, W.S. 1997. Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale. Bioscience 47, 513-519.

PARUELO, J.M. & SALA, O.E. 1993. Effect of global change on maize production in the Argentinean Pampas. Climate Research 3:161-167.

PARUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P.; BALDI, G. & DI BELLA, C.M. 2004a. La estimación de la superficie agrícola. Antecedentes y una propuesta Metodológica. Interciencia 29, 421-427.

PARUELO, J.M.; GARBULSKY, M.F.; GUERSCHMAN, J.P. & JOBBÁGY, E.G. 2004b. Two decades of Normalized Difference Vegetation Index changes in South America: identifying the imprint of global change. Int. J. Remote Sensing 25, 2793-2806.

PARUELO, J.M.; GUERSCHMAN, J.P. & VERÓN, S.R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Ciencia Hoy 15, 14-23.

PIELKE, R.A. & AVISSAR, R. 1990. Influence of landscape structure on local and regional climate. Landsc. Ecol. 4, 133-155.

SARLI, V. 2004. Impacto del cambio en el uso del suelo sobre el funcionamiento ecosistémico. Departamentos de Paysandú y Río Negro, Uruguay. Tesis Maestría En Ciencias Ambientales. Universidad de La Republica. Facultad de Ciencias . Montevideo-Uruguay.

SAUNDERS D.A.; HOBSS R.J. & MARGULES C.R. 1991 Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: a Review. Conservation Biology, 5, 18-32.

SCHEFFER M. BROCK W. & WESTLEY F. 2000. Socioeconomic Mechanism Preventing Optimun Use of Ecosystem Services: An Interdisciplinary Theretical Analysis. Ecosystems, 3, 451-471.

SCHOFIELD NJ .1992. Tree-planting for dryland salinity control in Australia. Agroforestry Systems: 20, 1-23.

SILVEIRA, L.; ALONSO, J. & MARTÍNEZ, L. 2006. (mimeo). Efecto de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales en el Uruguay. Parte I: aguas. Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA), Facultad de Ingeniería. Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

VEGA, E. & MÁRQUEZ-HUITZIL, R. 2003. Evaluación indirecta del disturbio mediante la combinación de estrategias de modelaje: un ejemplo con la Cuenca de Valle de Bravo, Estado de México. Ecosistemas Templados de Montaña de México. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.

VERBURG, P.H.; VELDKAMP, A. & BOUMA, J., 1999. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. Global Environ. Change 9, 303-312.

VOLANTE *et al.,* 2005. Análisis de la dinámica del uso del suelo agrícola del Noroeste argentino mediante teledetección y SIG. Pro.Re.NOA. INTA, EEA Salta.